



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

CONCRETO INCORPORADO COM RESÍDUO OLEOSO DE PETRÓLEO

Ítalo Bezerra de Sousa

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça.

Campina Grande-PB, 14/07/2017.

**CONCRETO INCORPORADO COM RESÍDUO OLEOSO DE
PETRÓLEO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Campina Grande-PB, 14/07/2017.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA CIVIL**

Ítalo Bezerra de Sousa

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Universidade Federal
de Campina Grande como requisito
para obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Estruturas.

Orientadora: PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça

CAMPINA GRANDE – PB

07/2017

FOLHA DE APROVAÇÃO

Ítalo Bezerra de Sousa

CONCRETO INCORPORADO COM RESÍDUO OLEOSO DE PETRÓLEO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e aprovado em 17/07/2017 perante a seguinte Comissão Julgadora:

Profª. PhD. Ana Maria G. Duarte Mendonça
Orientador
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Prof. Dr. José Bezerra da Silva
Examinador Interno
Departamento de Engenharia Civil
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Universidade Federal de Campina Grande

Profª. Msc. Loredanna Melyssa Costa de Souza
Examinador Externo
Departamento de Engenharia Civil
Universidade Estadual da Paraíba

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por estar me iluminando, me protegendo e me guiando, em todas as horas da minha vida. Por estar me proporcionado toda essa alegria de realizar um sonho, o de ser engenheiro civil. Aos meus pais, Cleonaldo e Maria, que estiveram e estão, sempre ao meu lado me apoiando nas horas fáceis e difíceis. Agradeço a eles a minha perseverança de alcançar meu sonho sem nunca pensar em desistir.

Aos meus irmãos, pelo companheirismo, aos meus avós por toda experiência e afeto, aos meus tios, tias e primos, sou grato pela família alegre e companheira, e aos meus amigos, pelo apoio e companheirismo durante toda esta etapa.

Obrigado a todos que acreditaram em mim. A minha orientadora, prof^a PhD. Ana Maria Gonçalves Duarte Mendonça pelo apoio, muito obrigado.

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, que sempre me incentivaram e sempre buscaram me mostrar que com o trabalho duro, e o esforço máximo, o sucesso é alcançado com êxito. Dedico também, aos meus professores, por todos ensinamentos, por todas as palavras de apoio e por estarem sempre à disposição para ajudar de qualquer forma.

Que os vossos esforços
desafiem as impossibilidades,
lembrai-vos de que as grandes
coisas do homem foram
conquistadas do que parecia
impossível. Charles Chaplin

LISTA DE FIGURAS

Figura 1:	Concreto bombeado sendo aplicado.....	18
Figura 2:	Vazamento de petróleo no mar.....	23
Figura 3:	Borra oleosa de petróleo.....	25
Figura 4:	Indústria cimenteira.....	27
Figura 5:	Fluxograma do co-processamento em fornos de cimento.....	27
Figura 6:	Fluxograma de etapas de pesquisa.....	28
Figura 7:	Ensaio de tração e corpos de provas rompidos.....	34
Figura 8:	Curva Granulométrica do agregado miúdo.....	37
Figura 9:	Curva Granulométrica do agregado graúdo.....	40
Figura 10:	Curvas Distribuição granulométrica por difração a laser do resíduo oleoso de petróleo.....	42
Figura 11:	Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG) do resíduo oleoso de petróleo.....	44
Figura 12:	Difratograma de raios-x do resíduo oleoso de petróleo.....	44
Figura 13:	Evolução da resistência à tração ao longo do tempo.....	45
Figura 14:	Evolução da resistência à compressão ao longo do tempo....	47
Figura 15:	Microestrutura para o concreto de referência e para o concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo.....	47

LISTA DE TABELA

Tabela 1:	Teores de substituição do cimento por Resíduo oleoso de petróleo.....	33
Tabela 2:	Resultados de caracterização do agregado.....	36
Tabela 3:	Composição Granulométrica do agregado miúdo.....	37
Tabela 4:	Resultados da caracterização do agregado graúdo.....	39
Tabela 5:	Composição granulométrica do agregado graúdo.....	39
Tabela 6:	Resultados da Caracterização do Cimento.....	41
Tabela 7:	Massa específica real dos grãos do resíduo oleoso.....	41
Tabela 8:	Porcentagem de betume do resíduo oleoso.....	42
Tabela 9:	Umidade higroscópica do resíduo oleoso.....	42
Tabela 10:	Composição química do Resíduo Oleoso de Petróleo (ROP).....	43
Tabela 11:	Evolução da resistência à tração - ftd (MPa).....	45
Tabela 12:	Resistência à compressão aos 28 dias	

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

Al_2O_3 : Alumina

CaO: Óxido de cálcio

CB 18: Comitê Brasileiro de Cimento, Concreto e Agregados

F_2O_3 : Óxido de ferro

NBR: Norma Brasileira Regulamentadora

ROP: Resíduo oleoso de petróleo

SiO_2 : Sílica

RESUMO

Indústrias de petróleo são conhecidas no mundo inteiro por gerarem resíduos com grandes impactos ambientais. O principal resíduo gerado é a borra oleosa de petróleo, produzido em refinarias, que contém óleo e graxas, metais pesados e hidrocarbonetos totais. Assim, se faz necessário o tratamento desse resíduo, tendo em vista que as questões de sustentabilidade e ambientalismo estão cada vez mais rigorosas e necessárias nas décadas atuais. Um dos métodos encontrados para o controle e mitigação dos problemas ambientais causados por esse resíduo tendo em vista que a indústria da construção civil tem potencial de reciclagem desse tipo de material é a incorporação desse resíduo oleoso de petróleo no concreto de cimento Portland. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar os efeitos da incorporação de resíduos oleosos de petróleo em substituição parcial ao agregado miúdo em concretos. Para isso, este projeto foi dividido basicamente em quatro etapas, a primeira é a seleção de materiais: descrição dos materiais, critérios adotados para escolha e laboratórios utilizados; a segunda é caracterização química, física e mineralógica: realização de ensaios para determinação das propriedades químicas, físicas e mineralógicas do resíduo oleoso de petróleo, dos agregados e do cimento; a terceira é a moldagem dos corpos de prova nas dimensões de 10cm x 20cm. com incorporação de 10% e 20% de resíduo oleoso de petróleo; e a quarta é a determinação resistência à compressão simples; resistência tração na flexão; Determinação da microestrutura do concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%. Após realização dos ensaios foi possível concluir que o resíduo oleoso de petróleo, contribuiu para a redução da resistência, tanto para tração, quanto para compressão do concreto. Porém, para os teores de substituição de 10% podem ser levados em consideração e considerados aceitáveis observando o valor de f_{ck} , superior de 24,34 MPa. Quanto a microestrutura do concreto, observa-se que a incorporação do resíduo proporcionou a obtenção de uma estrutura homogênea e com presença de vazios.

Palavras-chave: material alternativo; compósito; construção civil.

ABSTRACT

Oil industries are known all over the world for generating wastes with major environmental impacts. The main waste generated is oil sludge produced in refineries, which contains oil and grease, heavy metals and total hydrocarbons. Thus, it is necessary to treat this waste, considering that sustainability and environmental issues are increasingly rigorous and necessary in the current decades. One of the methods found for the control and mitigation of the environmental problems caused by this residue, since the construction industry has the potential to recycle this type of material is the incorporation of this oily petroleum residue in Portland cement concrete. This work has as main objective to evaluate the effects of the incorporation of oily petroleum residues in partial substitution to the small aggregate in concretes. For this, this project was divided basically in four stages, the first one is the selection of materials: description of materials, adopted criteria for choice and laboratories used; The second one is chemical, physical and mineralogical characterization: conduction of tests to determine the chemical, physical and mineralogical properties of petroleum residue, aggregates and cement; The third is the molding of the specimens in the dimensions of 10cm x 20cm. With incorporation of 10% and 20% oily petroleum residue; And the fourth is the simple compressive strength determination; Resistance attraction in flexion; Determination of the microstructure of the concrete incorporated with oily petroleum residue in the contents of 10% and 20%. After the tests, it was possible to conclude that the oily petroleum residue contributed to the reduction of the tensile strength and compression of the concrete. However, for the substitution contents of 10% can be taken into account and considered acceptable observing the value of f_{ck} , superior of 24,34 MPa. As for the microstructure of the concrete, it is observed that the incorporation of the residue provided a homogeneous structure and with the presence of voids.

Palavras-chave: alternative material; Composite; construction.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Justificativa.....	14
1.2	Hipóteses.....	14
1.3	Objetivos.....	14
1.3.1	Objetivo Geral.....	14
1.3.2	Objetivos Específicos.....	15
1.4	Organização do trabalho de conclusão de curso.....	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	Definição dos elementos de concreto.....	18
2.1.1	Componentes do concreto.....	19
2.1.2	Propriedades do concreto.....	21
2.2	Petróleo.....	22
2.2.1	Indústria petrolífera.....	22
2.2.2	Questões ambientalistas.....	23
2.2.3	Resíduos oleosos de petróleo.....	24
2.3	Métodos de aproveitamento e deposição dos resíduos oleosos de petróleo.....	26
2.4	Resíduos oleosos de petróleo incorporado ao concreto.....	26
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	28
3.1	Metodologia.....	29
3.1.1	Etapas de pesquisa	29
3.1.2	Caracterização química, física e mineralógica do resíduo oleoso de petróleo.....	29
3.1.3	Caracterização física dos agregados e do cimento.....	30
3.1.4	Estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova.....	32
3.1.5	Determinação das propriedades mecânicas e microestrutura.....	33
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1	Caracterização do agregado miúdo.....	36
4.2	Caracterização do agregado graúdo.....	38
4.3	Caracterização do cimento Portland.....	40
4.4	Caracterização físico e químico mineralógica do resíduo	

	oleoso.....	41
4.4.1	Massa específica real.....	41
4.4.2	Porcentagem de betume.....	41
4.4.3	Teor de umidade higroscópica.....	42
4.4.4	Análise granulométrica por difração a laser.....	42
4.4.5	Análise química por fluorescência de raios X.....	43
4.4.6	Análise térmica diferencial e termogravimétrica.....	43
4.4.7	Difusão de raios X.....	44
4.4.8	Ensaio de Resistência a tração por composição diametral.....	45
4.4.9	Determinação de resistência a compressão simples.....	46
4.4.10	Determinação da microestrutura do concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%.....	47
5	CONCLUSÕES.....	49
6	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	50
	REFERÊNCIAS.....	51
	ANEXOS.....	54
	ANEXO 1.....	54
	ANEXO 2.....	54
	ANEXO 3.....	54

1 INTRODUÇÃO

Indústrias de petróleo são conhecidas no mundo inteiro por gerarem resíduos com grandes impactos ambientais. O principal resíduo gerado é a borra oleosa de petróleo, produzida em refinarias, que contém óleo e graxas, metais pesados e hidrocarbonetos totais. Assim, se faz necessário o tratamento desse resíduo, tendo em vista que as questões de sustentabilidade e ambientalismo estão cada vez mais rigorosas e necessárias nas décadas atuais.

A borra oleosa é produzida durante a estocagem, transporte e refino do petróleo. Em 2013, a Petrobras produziu 2,1 milhões de barris de petróleo por dia (PETROBRAS, 2014), com isso o volume de borra de petróleo produzido durante os processos citados anteriormente chega a 2.940 toneladas por dia, então se faz cada vez mais necessário através de inovações tecnológicas e estudos avançados, o desenvolvimento de métodos para que ocorra mitigação dos impactos ambientais causados pela indústria petrolífera.

Durante anos o material oleoso era descartado em diques sobre o solo, valas, trincheiras ou em tambores para posterior aterro. A acumulação deste resíduo pode vir a contaminar os corpos hídricos adjacentes, provocando o assoreamento dos rios, mortandade de peixes, contaminação pela presença de metais pesados, substâncias tóxicas, degradação do solo devido à alta salinidade presente na água produzida e comprometer áreas de preservação ambiental (GUIMARÃES, 2007).

A toxicidade dos resíduos gerados pela indústria petrolífera advém da sua composição na qual podemos encontrar grandes quantidades de benzeno aromático, fenol e hidrocarbonetos policíclicos que podem causar doenças graves e prejudicar o meio ambiente. Esses elementos são, portanto, classificados como poluentes ambientais prioritários pela United States Environmental Protection Agency (USEPA, 1986).

Um dos métodos encontrados para o controle e mitigação dos problemas ambientais causados por esse resíduo tendo em vista que a indústria da construção civil tem potencial de reciclagem desse tipo de material

é a incorporação desse resíduo oleoso de petróleo no concreto de cimento Portland.

1.1 Justificativa

A utilização de resíduos tem se mostrado como uma boa alternativa na construção civil na substituição do agregado miúdo em dosagem de concreto, com isso tem-se uma redução do impacto causado pelo consumo desordenado de matéria prima e pela redução das áreas de disposição, considerando o crescente volume de resíduos descartados em todo mundo.

Tendo em vista essa problemática o trabalho foi realizado com o intuito de explicar através de experimentos a eficiência do método de incorporação de resíduo oleoso de petróleo em concreto e conseqüentemente a diminuição do impacto ambiental e causado da disposição de resíduos no meio ambiente.

1.2 Hipótese da pesquisa

Partiu-se da seguinte hipótese: “A borra oleosa de petróleo pode ser utilizada com substituinte de parte do agregado miúdo no concreto, sem modificar as propriedades finais em relação ao concreto de referência, contribuindo assim para uma maior sustentabilidade na área da construção civil”. Como consequência da aceitação desta hipótese, tem-se uma alternativa para diminuir os danos gerados por esses resíduos e o desenvolvimento de uma técnica efetiva de aproveitamento desse material que a princípio não teria função benéfica alguma no meio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como objetivo principal avaliar os efeitos da incorporação de resíduos oleosos de petróleo em substituição parcial ao agregado miúdo em concretos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estudar as propriedades físicas e mecânicas do concreto dosado com resíduo oleoso de petróleo;
- Avaliar a microestrutura do concreto dosado com resíduo oleoso.

1.4 Organização do Trabalho de Conclusão de Curso

O texto deste Projeto de Pesquisa Aplicada encontra-se em um volume único distribuído da seguinte forma:

[Capítulo 1] Introdução – Introdução, Justificativa, Hipótese da pesquisa, Objetivos da Pesquisa e Organização do Trabalho de conclusão de curso.

[Capítulo 2] Fundamentação Teórica – são abordados assuntos relacionados ao concreto e ao petróleo.

[Capítulo 3] Materiais e Métodos – são apresentados os materiais utilizados na pesquisa e relatados aspectos considerados importantes sobre os procedimentos da etapa experimental.

[Capítulo 4] Resultados e discussões.

[Capítulo 5] Conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

E por fim apresentação das referências.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O concreto, como conhecemos hoje, é uma tecnologia nova se comparado com o aço, madeira ou pedra, porém, desde o descobrimento, no decorrer do séc. XIX, seu uso foi intenso até a atualidade (HELENE E ANDRADE, 2010).

De acordo com Carvalho (2008), a madeira, embora abundante na época, apresentava problemas de durabilidade e combustão, muitas cidades sofreram grandes sinistros, a alvenaria de pedras ou de tijolos foi o sistema estrutural aplicado em substituição as construções em madeira.

Inicialmente, de acordo com Bertolini (2010), se acreditou que o concreto era um material eterno e as construções com o mesmo não sofreriam patologias ou deteriorações permanecendo estáveis enquanto a humanidade não interferisse em sua existência.

Carvalho (2008), explica que a utilização do concreto se deu, com a mistura que resultava em argamassa, inicialmente de barro (os assírios e babilônios usaram a argila como material ligante) e posteriormente, uma argamassa mais resistente e durável, a argamassa de cal, utilizada como material colante para a alvenaria em pedras. Os romanos já usavam a cal como aglomerante desde 600 a.C., mas a grande descoberta que alavancou a engenharia romana e possibilitou dotar as cidades dessa infraestrutura um novo material de construção foi o Opus Caementicium, cujo componente principal era uma cinza pozzolânica que misturada à argamassa de cal produzia um material de características semelhantes ao cimento atual.

O desenvolvimento tecnológico do concreto durante o Império Romano foi notável. Desenvolveram o concreto com o uso de agregados leves e o concreto reforçado com barras metálicas. Mas esse conhecimento romano ficou esquecido durante a Idade Média e somente foi resgatado em meados do século XVIII (CARVALHO, 2008).

Ainda de acordo com Carvalho (2008) durante décadas engenheiros desenvolveram estudos e obtiveram diferentes tipos de cimentos. Assim, em 1824 Joseph Aspdin solicitou e obteve a Patente para um aperfeiçoamento no método de produzir a pedra artificial. Aspdin deu-lhe o nome de Cimento Portland.

Carvalho (2008) relata ainda que em 1843, Grisell e Peto, empreiteiros ingleses, fizeram os primeiros estudos comparativos entre o cimento Portland e o Romano ficando demonstrada a superioridade do primeiro. Graças aos estudos e aperfeiçoamento do cimento romano e desenvolvimento do cimento Portland, o produto estava à disposição dos engenheiros e vinha sendo usado em argamassas e peças de concreto simples.

O desenvolvimento do concreto deu-se, sem dúvida, graças à sua facilidade de conformação. Em pouco tempo notou-se que o novo material apresentava boa resistência à compressão, porém baixa resistência à tração, o que motivou a adição de aço à argamassa de concreto, originando o concreto armado.

Desde seu desenvolvimento, na Roma antiga, o concreto evoluiu muito. A engenharia usa concreto atualmente em campos muito diversos, em muitos casos sob ambientes extremamente agressivos. Para se adaptar às novas aplicações foram desenvolvidas uma infinidade de tipos de concretos, utilizando uma enorme variedade de cimentos, agregados, adições, aditivos e formas de aplicação, como o armado, protendido, projetado, entre outros (CARVALHO, 2008).

Estima-se que por ano são consumidas 11 bilhões de toneladas de concreto, o que dá, segundo a Federación Iberoamericana de Hormigón Premesclado (FIHP), aproximadamente, um consumo médio de 1,9 tonelada de concreto por habitante por ano, valor inferior apenas ao consumo de água. No Brasil, o concreto que sai de centrais dosadoras gira em torno de 30 milhões de metros cúbicos (PEDROSO, 2009).

2.1 Definição e elementos constituintes do concreto

Segundo Battagin (2011), superintendente do CB-18 da ABNT, o concreto (Figura 1) é uma mistura homogênea de cimento, agregados graúdos e miúdos, com ou sem a incorporação de elementos minoritários (aditivos químicos e adições), que desenvolve suas propriedades pelo endurecimento da pasta de cimento.

Figura 1: Concreto bombeado sendo aplicado



FONTE: Tekla (divulgação internet)

O concreto é um material construtivo amplamente disseminado. Podemos encontra-lo em casas de alvenaria, rodovias, em pontes, nos edifícios mais altos do mundo, em torres de resfriamento, em usinas hidrelétricas e nucleares, em obras de saneamento, até mesmo em plataformas petrolíferas moveis (PEDROSO, 2009).

De acordo com Carvalho e Filho (2014) o concreto é um material composto de água, cimento e agregados. Associando-se esses materiais, o resultado é:

- Pasta de cimento: cimento + água;
- Argamassa: pasta + agregado miúdo;
- Concreto: argamassa + agregado graúdo;
- Microconcreto: concreto em que o agregado graúdo tem dimensões reduzidas;

- Concreto de alto desempenho: concreto em que a resistência à compressão supera os 50MPa.

“O grande desafio da tecnologia de concreto atualmente parece ser aumentar a durabilidade das estruturas, recuperar estruturas danificadas e em entender o complexo mecanismo químico e mecânico dos cimentos e concretos. Para isto, uma nova geração de concretos está sendo desenvolvida, métodos tradicionais de execução e cálculo de concreto estão sendo revistos, teorias não-lineares e da mecânica do fraturamento estão sendo desenvolvidas. Alguns Concretos Especiais: Concreto de Alto Desempenho; Concreto Compactado com Rolo; Concreto Projetado; Concreto Protendido; e Concreto com adição de fibras e outros tantos tipos de concretos especiais que pode ser melhor conhecido ao baixar o manual do concreto” (CIMENTO ORG, 2008).

2.1.1 Componentes do concreto

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), concreto é um material composto que consiste, essencialmente, de um aglomerante no qual estão aglutinados partículas ou fragmentos de agregados. No concreto de cimento hidráulico, o aglomerante é formado por uma mistura de cimento hidráulico e água.

a) Cimento

“O cimento é obtido aquecendo-se calcário e argila até a sintetização. Depois se mói a mistura até obter-se um produto de textura fina. Os cimentos como aglomerantes hidráulicos determinam as características do concreto” (ALMEIDA 2002).

De acordo com Fusco (2008) os componentes básicos dos cimentos são sempre os mesmos, variando, para cada tipo, a proporção em que esses componentes compõem. São eles: a cal (CaO), a sílica (SiO_2), a alumina (Al_2O_3) e o óxido de ferro (F_2O_3). Esses componentes são aglutinados por sinterização, isto é, por aquecimento da mistura até uma fusão incipiente, sendo posteriormente moídos com uma finura adequada.

b) Agregados

Petrucci (1981) define “agregado como material granular sem forma ou volume definidos, geralmente inerte, de dimensões e propriedades adequadas para uso em obras de engenharia.”.

Carvalho e Filho (2014) explicam que o principal objetivo da utilização dos agregados maiores na composição do concreto é o econômico visto que, o cimento é um material caro. Essa adição de agregados não reduz muito a qualidade do concreto.

Pelo menos 3/4 do volume do concreto é composto pelos agregados, assim, é de suma importância sua qualidade. Os agregados podem limitar a resistência do concreto, caso tenham propriedades indesejáveis, não conseguem produzir um concreto resistente e suas propriedades afetam significativamente a durabilidade e o desempenho estrutural do concreto (NEVILLE, 2016).

Segundo a norma da ABNT, NBR 7211:2005, os agregados miúdos são areias naturais quartzosas ou artificiais, resultantes do britamento de rochas estáveis, de diâmetro máximo igual ou inferior a 4,8mm.

Já os agregados graúdos, segundo a norma da ABNT, NBR 7211:2005, são pedregulhos naturais ou pedras britadas provenientes do britamento de rochas estáveis, de diâmetro máximo superior a 4,8mm

c) Água

De acordo com Fusco (2008, p.24) “a água destinada ao amassamento do concreto deve ser isenta de teores prejudiciais de substâncias estranhas”.

A NBR 6118, determina a preferência por águas potáveis.

Fusco (2008) explica ainda que caso as águas sejam não-potáveis é necessário controlar o conteúdo de matéria orgânica, os resíduos sólidos existentes, bem como os teores de sulfatos (expressos em íons SO_4^{2-}) e de cloretos (expressos em íons Cl).

d) Aditivos Químicos

Segundo Petrucci (1981), aditivos são substâncias que adicionadas intencionalmente ao concreto podem reforçar ou melhorar certas características do mesmo, inclusive facilitando seu preparo e utilização”.

“Um dado muito importante a ser considerado é o controle rigoroso da composição química de aditivos eventualmente empregados para a obtenção de efeitos particulares, tais como os aceleradores de pega, os aceleradores de endurecimento, os de incorporação de ar, etc” (FUSCO, 2008, p. 24).

2.1.2 Propriedades do concreto

a) Resistências a compressão

De acordo com Carvalho e Filho (2014, p.34), “a principal característica do concreto é sua resistência à compressão, a qual é determinada pelo ensaio de corpos de prova submetidos a compressão centrada”.

Para estimar a resistência em um lote de concreto, são moldados e preparados corpos de prova para ensaio segundo a NBR 5738 – Moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos ou prismáticos de concreto, os quais são ensaiados segundo a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos. O corpo de prova padrão brasileiro é o cilíndrico, com 15 cm de diâmetro e 30 cm de altura, e a idade de referência para o ensaio é 28 dias. Após ensaio de um número grande de corpos de prova, pode ser feito um gráfico com os valores obtidos de f_c versus a quantidade de corpos de prova relativos a determinado valor de f_c , também denominada densidade de frequência. A curva encontrada denomina-se Curva Estatística de Gauss ou Curva de Distribuição Normal para a resistência do concreto à compressão (PINHEIRO et al, 2010).

b) Resistência a tração

Outra característica do concreto é a má resistência a tração. Porém, a resistência a tração ter influência na resistência da peça, conforme afirmam Carvalho e Filho (2014, p.36):

“Como o concreto é um material que resiste mal a tração, geralmente não se conta com a ajuda dessa resistência. Entretanto, a resistência a tração pode estar relacionada com a capacidade resistente da peça, com as ajudas dos esforços cortantes, e, diretamente, com a fissuração, sendo necessário, por isso, conhecê-las”.

2.2. Petróleo

De acordo com Farias (2008, p. 11) “a palavra petróleo vem do latim *petroleum* (*petro* = pedra; *oleum* = óleo), ou seja, petróleo significa óleo que vem da pedra”.

O petróleo é constituído, basicamente, de hidrocarbonetos, podendo encontrar-se no estado gasoso, quando suas moléculas são pequenas; ou no estado líquido, quando suas moléculas são maiores (ARAÚJO, 2003).

2.2.1. Indústria Petrolífera

A indústria de petróleo, no Brasil, teve início e destaque, no cenário mundial, após o ano de 1930, quando o fortalecimento do Estado ascendeu-se através da aliança Estado e Exército (DRAIBE, 2008).

A indústria petrolífera brasileira, passou por várias etapas durante o processo histórico, econômico, político e social. Contudo, suas significativas mudanças ocorreram, nos últimos quinze anos, através da abertura do mercado decorrente da flexibilização do monopólio estatal sobre as jazidas de petróleo e seus derivados (FONTES & FONTES, 2013).

2.2.2. Questão ambientalista

De acordo com Farias (2008) durante os anos de 1980, 5,5 toneladas de gás carbônico foram liberados por ano, destes a maior parte foi pela combustão do petróleo, gás natural e do carvão. Se não existissem outras preocupações ambientais relacionadas ao petróleo, apenas a poluição atmosférica já seria suficiente para busca por medidas para seu controle.

Diariamente as indústrias de petróleo lidam com desastres decorrentes de vazamentos (Figura 2), derrames e acidentes durante a exploração, refinamento, transporte e operações de armazenamento do petróleo e seus derivados (BRATBERG & HOPKINGS, 1995).

Figura 2: Vazamento de petróleo no mar



FONTE: Thinkstock/Getty Images (2014).

Os principais problemas ambientais causados pelo petróleo são: derramamento de óleo, que podem acontecer tanto no solo como nas águas; poluição do ar por hidrocarbonetos; contaminações ambientais no processo de exploração do petróleo; aumento do efeito estufa e incidência de chuva ácida (FARIAS, 2008).

A poluição ambiental causada por derivados de petróleo, óleos e graxas é um problema global e a cada ano, a quantidade de resíduos oleosos emitidos por indústrias de diversos ramos aumenta consideravelmente (JACOBUCCI, 2000).

2.2.3. Resíduos oleosos de petróleo

Patin (1982) enfatiza que o petróleo, seus derivados, os metais pesados, organoclorados e compostos altamente voláteis estão entre os principais poluentes ambientais, todos decorrentes da intensa utilização do ambiente marinho pela indústria petrolífera seja pela produção offshore ou pelo transporte marítimo de óleo cru e derivados.

“Os vazamentos considerados normais no processo de transporte marítimo representam cerca de 98% das perdas totais de petróleo e derivados, enquanto que as perdas acidentais correspondem aos 2% restantes, contribuindo com o lançamento de aproximadamente, 400.000 toneladas/ano de óleo, sendo que cerca de 70% dos casos ocorrem durante as operações de carga e descarga dos navios nos portos e terminais petrolíferos” (IPIECA, 1991).

Guimarães (2007), explica que a borra oleosa (Figura 3) é um material com aspecto pastoso, quase sólido, constituído de areia (mistura de argila, sílica e óxidos) contaminada com óleo, água produzida e produtos químicos utilizados no processo de produção de petróleo. Este resíduo é oriundo de filtros de petróleo nas plataformas, da limpeza de permutadores e da parte inferior dos tanques de armazenamento de petróleo e seus derivados como o diesel, gasolina, GLP, nafta petroquímica, solventes, querosene, óleos lubrificantes, parafinas, óleo combustível, asfalto e outros. Além disso, em tanques de navios petroleiros ou em oleodutos.

Figura 3: Borra oleosa de petróleo

FONTE: Lemle (2003)

Na fase oleosa das borras de petróleo, ainda segundo Guimarães (2007) encontram-se de 40% a 60% de hidrocarbonetos saturados, 25% a 40% de aromáticos, nestes é muito freqüente a presença de benzeno, parcialmente responsável pela inflamabilidade da borra de petróleo e sua consequente classificação como resíduo perigoso (Classe I), 10% a 15% de resinas e 10% a 15% de asfaltenos.

Silva (2013), embasado nos dados do Anuário Estatístico da ANP, afirma que em 2009 a capacidade efetiva de refino instalada no mundo foi de 90,7 milhões de barris/dia, porém a produção mundial de petróleo foi de apenas 79,9 milhões de barris/dia. O processamento desse volume de petróleo deve gerar 1,198 milhão de barris/dia de borras oleosas, o que corresponde a 1,5% do total produzido.

2.3. Métodos de aproveitamento e deposição de resíduos oleosos

A problemática do descarte dos resíduos industriais, em especial os perigosos, impulsionou mundialmente a investigação por novas técnicas de tratamento e disposição adequada.

Segundo Pedroza (2011) o maior desafio da indústrias petrolíferas é o difícil tratamento e a disposição da borra oleosa. Essa borra em uma planta de produção e refino do petróleo consome uma parcela elevada do orçamento. Atualmente diversos estudos e novas tecnologias alternativas tem sido desenvolvidas com o intuito de solucionar esse problema. Alguns deles são : os tratamentos térmicos por pirólise, gaseificação e incineração, a reciclagem da borra com a sua incorporação à massa argilosa para a fabricação de blocos cerâmicos para a construção civil e a sua disposição em *landfarming*.

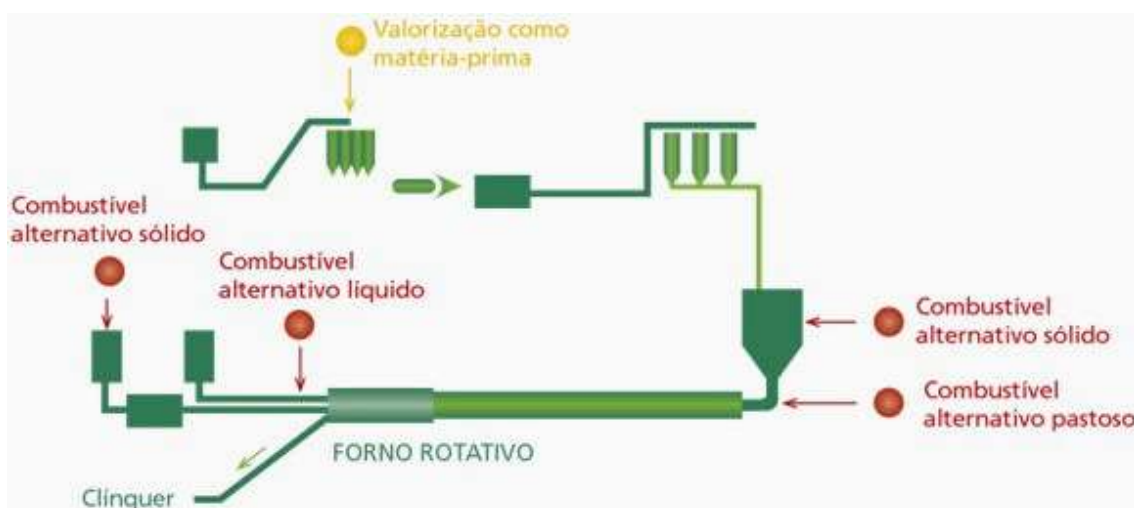
2.4. Resíduos oleosos de petróleo incorporado ao concreto

Uma grande consumidora de borras de petróleo é a indústria de cimento. Os resíduos da produção petrolífera se transformam em material utilizável na referida indústria como matéria prima ou combustíveis, onde é co-processada em fornos (Figura 4) a temperaturas superiores a 1000°C, de modo a destruir os contaminantes e incorporada ao cimento sem comprometer sua qualidade promovendo a sustentabilidade da indústria cimenteira. Em alguns países a cinza produzida durante a queima da borra oleosa pode ser aproveitada como base em pavimentação de rodovias, coberturas de aterros ou material para a construção de recifes artificiais (GUIMARÃES, 2007).

Figura 4: Indústria cimenteira

FONTE: Guimarães (2007)

Guimarães (2007) apresenta um esquema representado pela Figura 5 que ilustra o emprego dos resíduos industriais, como a borra de petróleo, como combustível nas etapas de fabricação do cimento.

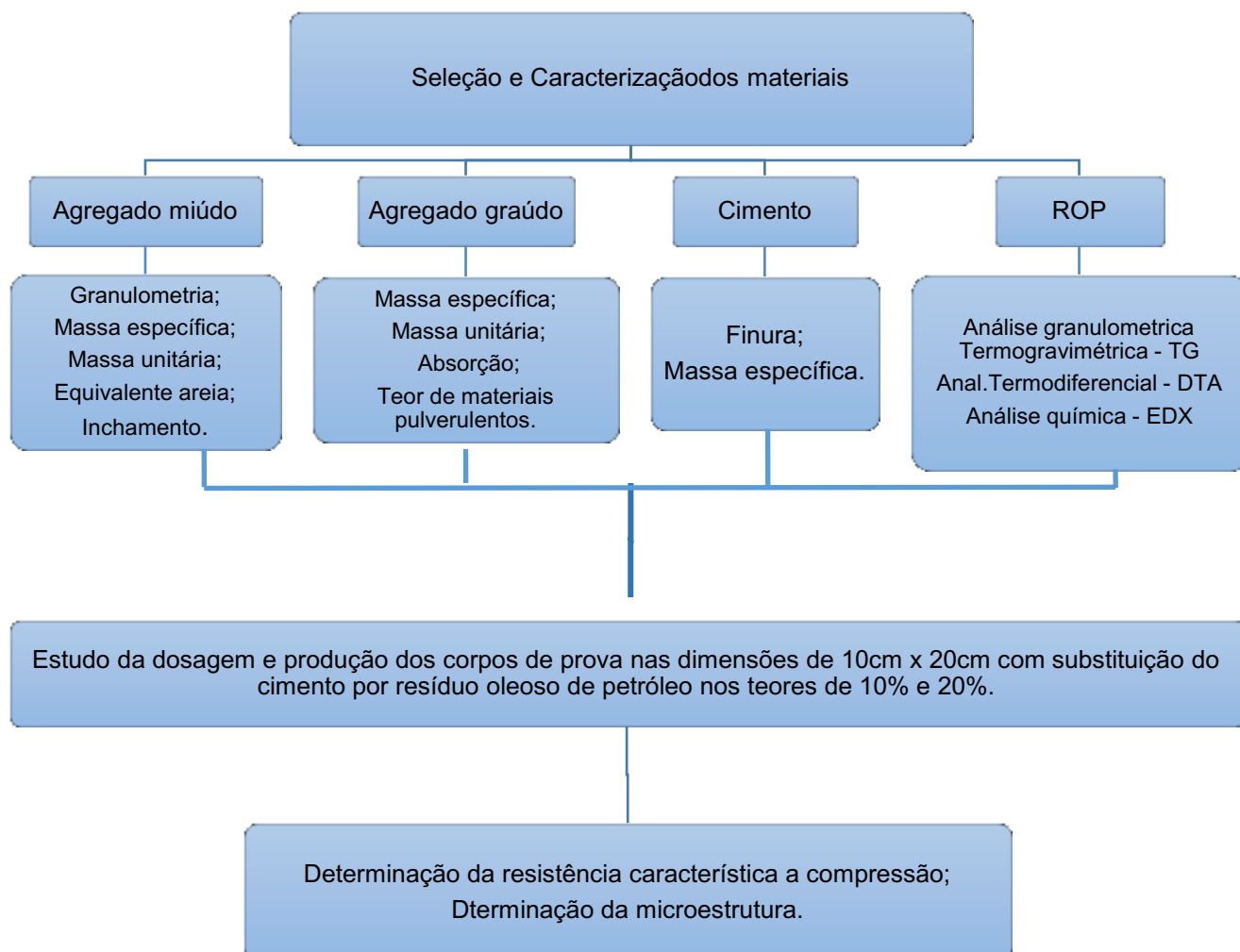
Figura 5: Fluxograma do co-processamento em fornos de cimento

FONTE: Guimarães (2007)

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 6 ilustra o Fluxograma das etapas da pesquisa, atividades e ensaios a serem realizados.

Figura 6: Fluxograma das etapas da pesquisa.



FONTE: Autoria própria (2017)

Este projeto foi dividido basicamente em quatro etapas:

Primeira Etapa – Seleção de Materiais: descrição dos materiais, critérios adotados para escolha e laboratórios utilizados;

Segunda Etapa – Caracterização química, física e mineralógica: realização de ensaios para determinação das propriedades químicas, físicas e mineralógicas do resíduo oleoso de petróleo, dos agregados e do cimento.

Terceira Etapa – Moldagem dos corpos de prova com dimensão de 10cm x 20cm com incorporação de 10% e 20% de resíduo oleoso de petróleo;

Quarta Etapa - Determinação resistência à compressão simples; Resistência à tração na flexão; Determinação da microestrutura do concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%.

3.1 Metodologia

3.1.1 Etapas da pesquisa

Neste subitem são enumerados os critérios e descritos os tipos de materiais utilizados neste trabalho. Os critérios para escolha dos materiais foram baseados nas especificações e normas da ABNT, da ASTM e da AASHTO.

Foram realizados ensaios para determinação das propriedades químicas, físicas e mineralógicas do resíduo oleoso de petróleo, e das propriedades físicas dos agregados e do cimento.

3.2.2 Caracterização química, física e mineralógica do resíduo oleoso de petróleo

a) Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG)

As análises térmicas diferenciais (DTA) e termogravimétricas (TG) do resíduo oleoso de petróleo foram realizadas em equipamento BP Engenharia, Modelo RB 3000, operando a 12,5°C/min. A temperatura máxima utilizada nas análises térmicas é de 100°C e o padrão utilizado nos ensaios de DTA foi o óxido de alumínio (Al_2O_3) calcinado.

b) Difração de raios-X

O ensaio de difração de raios – X foi realizado para o resíduo oleoso de petróleo, tendo como objetivo caracterizá-lo mineralogicamente. Na execução do ensaio foram utilizadas amostras passadas em peneira ABNT n° 200, correspondendo ao método conhecido como método do pó. O aparelho utilizado para realização do ensaio, foi o Difratorômetro SHIMADZU XRD-6000

com radiação $\text{CuK}\alpha$, tensão de 40kV, corrente de 30 mA, modo fixe time, com passo de 0,02 e tempo de contagem de 0,6 s, com angulo 2θ percorrido de 10° a 60° , o mesmo utilizado por SOUZA (2008).

c) Fluorescência de Raio-X

Para determinação da composição química dos materiais foi utilizada a técnica de espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX). Esta técnica baseia-se no princípio de que a absorção de raios-X pelo material provoca a ionização interna dos átomos, gerando uma radiação característica conhecida como “fluorescência”. Nesta análise são obtidos os óxidos presentes (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Ti_2O , entre outros).

3.1.1 Caracterização física dos agregados e do cimento

A seguir estão descritos os ensaios de caracterização do agregado graúdo, agregado miúdo e do cimento que foram utilizados na pesquisa.

a) Análise granulométrica

O ensaio de granulometria determina a distribuição percentual dos diferentes tamanhos dos grãos do agregado. É representada pela curva de distribuição granulométrica que mostra o percentual de material passando na peneira em questão versus logaritmo do diâmetro da abertura da peneira. O ensaio de composição granulométrica para o agregado graúdo e agregado miúdo como para o agregado graúdo foi realizado segundo o método de ensaio da ABNT NBR 7217 (ABNT, 1987).

b) Determinação da massa específica

A massa específica do agregado é a relação da massa e o seu volume, não considerando os vazios permeáveis da água. Este valor tem importância no cálculo do consumo dos materiais a serem determinados no traço de concreto.

A determinação da massa específica da areia foi realizada por meio do frasco de Chapman, segundo a norma ABNT NBR 9776 (ABNT, 1987). Para o

agregado graúdo a determinação da massa específica foi obtida utilizando-se a norma ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003) e para o cimento, o ensaio foi realizado seguindo a norma DNER – ME 085/1994.

c) Determinação da massa unitária

A massa unitária do agregado no estado solto corresponde ao quociente da massa do agregado lançado no recipiente e o volume desse recipiente. Este ensaio tem como objetivo principal verificar a massa unitária do agregado miúdo, incluindo os vazios, e umidade que existem entre os grãos, e determinar sua utilização no traço de concreto. Com essa determinação podem ser feitas transformações dos traços de massa para volume durante o procedimento de dosagem. O ensaio foi realizado com o agregado miúdo segundo o método de ensaio ABNT NBR 7251 (ABNT, 1982).

d) Determinação do teor de materiais pulverulentos

Os materiais pulverulentos são partículas minerais que passam na peneira de malha de nº 200 com abertura de 75µm, inclusive os materiais solúveis em água, presente nos agregados. Este ensaio, que tem como objetivo a determinação do teor de materiais pulverulentos nos agregados destinados ao preparo de concreto, foi realizado para o agregado miúdo de acordo com a norma ABNT NBR 7219 (ABNT, 1987).

e) Absorção

É o incremento de massa de um corpo sólido poroso devido à penetração de um líquido em seus poros permeáveis, em relação a sua massa no estado seco. A determinação da absorção dos agregados graúdos foi realizada segundo o método de ensaio ABNT NBR NM 53 (ABNT, 2003). Dependendo do valor da absorção pode ser feito o reajuste nos cálculos da relação água/cimento dos traços de concreto.

f) Ensaio de finura

É a determinação da porcentagem, em massa, de cimento Portland cujas dimensões de grãos são superiores a 75 µm através do método de

peneiramento manual de acordo com a norma ABNT NBR 11579 (ABNT, 2012). É importante se conhecer o valor da finura dos cimentos, pois quando esse valor é elevado, indica que ocorreu hidratação do cimento e conseqüentemente, perda de suas características. Quanto mais fino for o cimento melhor será a sua reação de hidratação e a resistência mecânica da argamassa.

3.1.3 Estudo da dosagem e moldagem dos corpos de prova

A dosagem dos materiais foi realizada de acordo com a metodologia estabelecida pela ABCP – Associação brasileira de Cimento Portland, e, conforme as seguintes etapas: Na primeira etapa foram determinados os traços. Na segunda etapa foi determinado os teores de substituição e idades de controle que foram utilizados na pesquisa.

Estipulou-se então dois teores de substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo, conforme apresentado a Tabela 1.

Tabela 1: Teores de substituição do cimento por Resíduo oleoso de petróleo

Material	Percentuais de substituição
Resíduo oleoso de petróleo	10%
Resíduo oleoso de petróleo	20%

FONTE: Autoria própria (2017)

a) Moldagem dos corpos de prova

Foram moldados corpos de prova nas dimensões de 10 cm x 20 cm com a substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo para determinação das propriedades nas idades de 7, 14 e 28 dias de cura. Os ensaios foram realizados com 6 repetições, ou seja, foram moldados 6 blocos para cada substituição do cimento por resíduo oleoso de petróleo (10% e 20%) para cada idade, sendo considerado como resultado final a média dos resultados encontrados para cada grupo.

3.1.4 Determinação das propriedades mecânicas e microestruturais

a) Resistência à compressão simples

Para a caracterização mecânica do concreto foi realizado o ensaio de resistência à compressão simples nas idades de controle de 7, 14 e 28 dias.

b) Resistência à tração por compressão diametral

Para a obtenção da resistência a tração dos corpos de prova moldados, foi realizado o ensaio de resistência a tração por compressão diametral. Neste ensaio a aparelhagem utilizada é a mesma para a execução dos ensaios de resistência a compressão do concreto, porém, a disposição do corpo de prova é diferente (Figura 7) e o contato entre o corpo de prova e os pratos da máquina de ensaio se deu apenas ao longo de duas geratrizes diametralmente opostas e para isso foram utilizadas chapas dura de fibra de madeira.

Figura 7 - Ensaio de tração e corpos de prova rompidos



FONTE: Autoria própria (2017)

A carga foi aplicada continuamente, sem choque, com crescimento constante da tensão. E, a partir do valor obtido de carga máxima de ruptura (Figura 7), é possível calcular a resistência a tração através da Equação 1.

$$f_{t,D} = \frac{2 * F}{\pi * d * L} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

F = carga máxima obtida no ensaio (KN);

d = diâmetro do corpo de prova (mm);

L = altura do corpo de prova (mm).

- c) Análise microestrutural do concreto incorporado com 10% e 20% de resíduo oleoso de petróleo

O método de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) permite a observação e a caracterização de materiais orgânicos e inorgânicos heterogêneos em uma escala micrométrica. O MEV oferece uma imagem ampliada da superfície do material que é muito similar ao esperado se fosse possível na verdade “olhar” esta superfície. Não apenas a informação da topografia do material é produzida como também, informação de sua composição. As micrografias dos corpos de prova foram realizadas no Laboratório de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande, em equipamento Superscam da SHIMADZU SSX 550 e foram metalizados com ouro. A ampliação utilizada no ensaio foi de 500 vezes

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os materiais utilizados na pesquisa serão apresentados a seguir.

4.1 Caracterização do agregado miúdo

A Tabela 2 apresenta os resultados de massa específica unitária e real do agregado miúdo de areia quartzosa, oriunda do leito do Rio Paraíba, utilizado.

Tabela 2: Resultados da caracterização do agregado miúdo

<i>Parâmetro Determinado</i>	<i>Valor Médio</i>
<i>Massa Específica Unitária</i>	1,76 g/cm ³
<i>Massa Específica Real</i>	2,62 g/cm ³

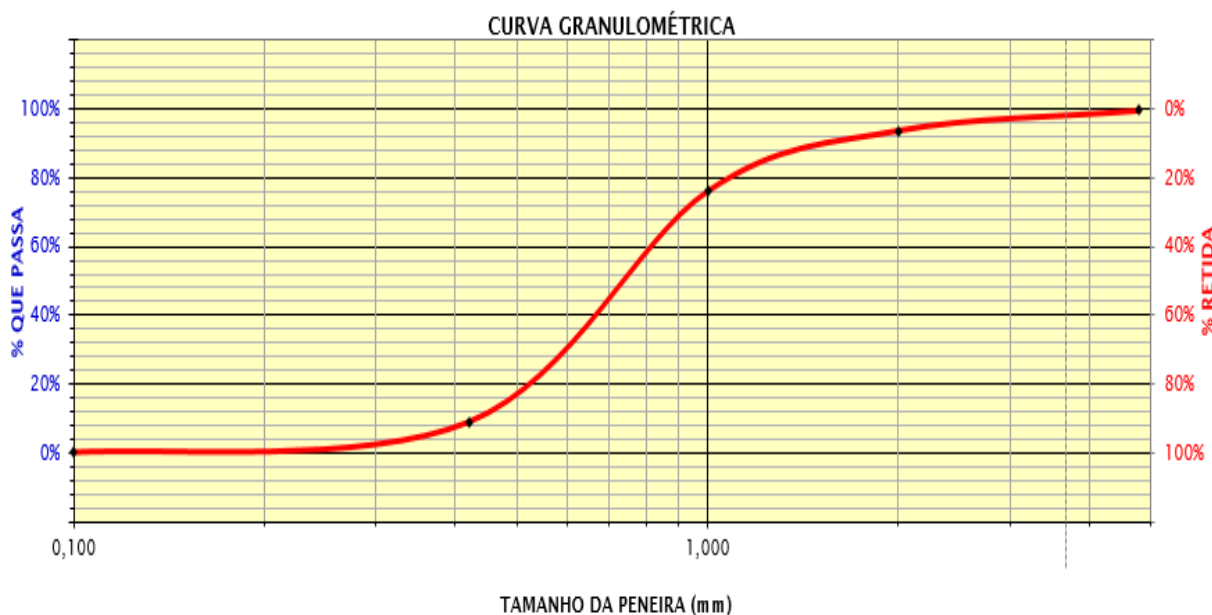
FONTE: Aatoria própria (2017)

A partir dos resultados obtidos, observa-se que este agregado pode ser utilizado como elemento na dosagem do traço do concreto. Obteve-se ainda, resultados para o ensaio da granulometria do agregado miúdo, como se observa na Tabela 3 e Figura 8.

Tabela 3: Composição Granulométrica do agregado miúdo

<i>Composição Granulométrica (ABNT NBR NM 248:2003)</i>			
<i>Porcentagem em Massa (%)</i>			
<i>Peneiras (mm)</i>	<i>Material Retido (g)</i>	<i>Retida</i>	<i>Acumulada</i>
4,8	5,2	0,523	0,523
2,4	56,9	5,72	6,24
1,2	168,4	16,9	23,14
0,6	375,2	37,72	60,86
0,3	285,0	28,65	89,51
0,15	86,3	8,68	98,19
Fundo	17,6	1,77	100
Módulo de Finura = 2,78			
Diâmetro Máximo = 4,8mm			

FONTE: Aatoria própria (2017)

Figura 81: Curva granulométrica do agregado miúdo

FONTE: Autoria própria (2017)

Quanto ao módulo de finura obteve-se o valor de 2,78%, de acordo com a NBR 7211 (ABNT, 2009), o agregado se classifica como areia de granulometria média, pois se posiciona dentro do intervalo de $2,4 < MF < 3,2$, da mesma forma como o módulo de finura está dentro do parâmetro de 2,20 a 2,90, sendo considerado por norma como dentro de zona ótima de utilização.

Ainda com base nos resultados expostos na Figura 6, é possível conhecer o diâmetro máximo para este agregado, que é de 4,80 mm. A partir dos valores obtidos pode-se considerar que a areia é bem graduada.

A composição granulométrica do agregado miúdo desempenha papel fundamental na preparação de concretos e argamassas. As dimensões do agregado têm efeito direto sobre os vazios, no fator água/cimento e na trabalhabilidade nas misturas de concreto.

Analisando os resultados apresentados na Tabela 3, para massa unitária. Este parâmetro é muito importante para o estudo de dosagem do concreto, referindo-se à densidade do agregado com os vazios existentes. Para determinação da massa unitária, foi realizado o procedimento estabelecido pela norma da NBR NM 45 (ABNT, 2006), adotando todos os cuidados para evitar a

segregação das partículas que constituem a amostra, o qual se obteve o valor de 1,76 g/cm³.

4.2 Caracterização do agregado graúdo

O agregado graúdo de origem granítica para a brita nº 1 (19,1mm), que foi utilizada a dosagem do concreto obtendo-se os seguintes resultados para os ensaios realizados:

Tabela 4: Resultados da caracterização do agregado graúdo.

<i>Parâmetro Determinado</i>	<i>Valor Médio</i>
Massa Específica Seca	2,886 g/cm ³
Massa Específica Aparente	3,065 g/cm ³
Massa Específica Saturada de Superfície Seca	2,886 g/cm ³
Absorção	3,107%

FONTE: Autoria própria (2017)

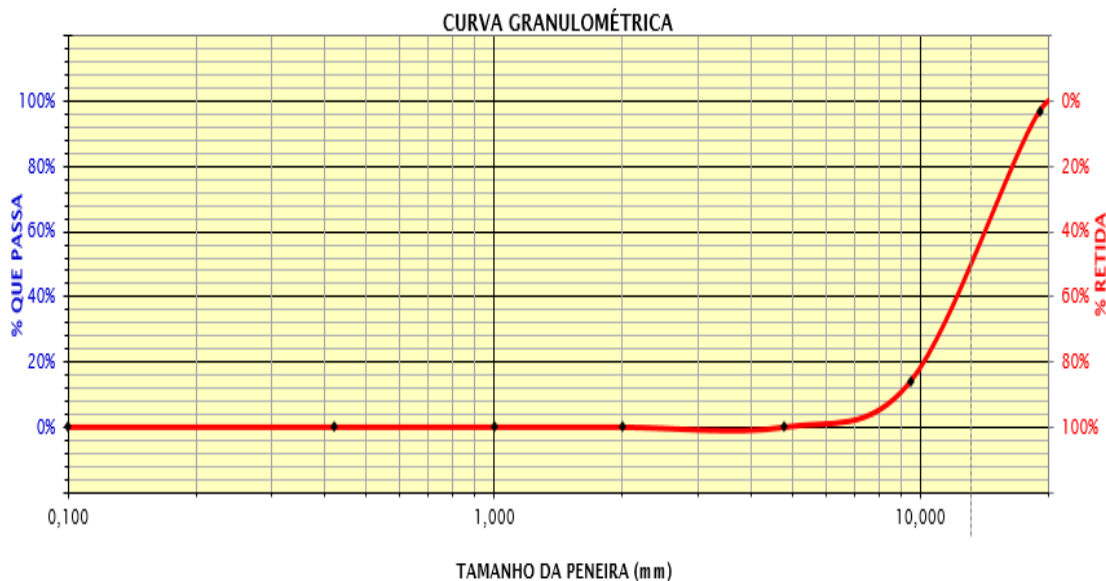
Seguindo também a análise granulométrica do material para resolução da sua curva e posterior classificação e avaliação de módulo de finura e diâmetro máximo característico:

Tabela 51: Composição granulométrica do agregado graúdo

<i>Composição Granulométrica</i>			
<i>Porcentagem em Massa (%)</i>			
<i>Peneiras (mm)</i>	<i>Material Retido (g)</i>	<i>Retida</i>	<i>Acumulada</i>
25,4	0,0	0,0	0,0
19,1	152,20	3,04	3,04
9,5	4157,0	82,92	85,96
4,8	704,0	14,04	100

Diâmetro Máximo = 19,1mm

FONTE: Autoria própria (2017)

Figura 9: Curva Granulométrica do agregado graúdo

FONTE: Autoria própria (2017)

Com o valor obtido, confirmou-se que o material ensaiado corresponde às características de dimensão máxima desejada, ou seja, 19,1mm dimensão referente a brita nº 1, comercializada comumente.

Como resultado exposto na Tabela 3, para o ensaio de massa específica do agregado seco (NBR NM53/2003), encontramos o valor de 2,886 g/cm³.

De acordo com a norma da ABNT NBR 7211/2009 o agregado graúdo, expostos na Tabela 5 e Figura 9, é classificado segundo a sua granulometria, como brita 1 com dimensão máxima característica (DMC) de 19,1 mm, atendendo, assim, a recomendação da norma da ABNT NBR 6136/2014.

4.3 Caracterização do cimento Portland

O cimento utilizado neste estudo, de acordo com o fabricante, especifica cada propriedade do mesmo, porém, ensaios foram realizados para confirmar que os dados fornecidos estavam de acordo com a realidade, pois, por algum erro na etapa de produção, alguma característica poderia ter sido alterada, deixando assim margens para erro na dosagem do concreto. Então, realizados os ensaios, segue os resultados obtidos:

Tabela 6: Resultados da Caracterização do Cimento

Parâmetro Determinado	Valor Determinado
Massa Específica Real	2,96 g/cm ³
Resistência Normal a 28 dias	32 MPa

FONTE: Autoria própria (2017)

4.4 Caracterização física e químico-mineralógica do Resíduo Oleoso

4.4.1 Massa específica real

Foram realizados vários ensaios com o resíduo oleoso de petróleo (ROP) para determinação de suas características física e químico-mineralógica. Inicialmente através dos parâmetros descritos na ABNT NBR NM 23:2001 – Cimento Portland e outros materiais em Pó – Determinação da massa específica, foi realizado o ensaio de Frasco Volumétrico de Le Chatelier, assim segue o resultado exposto na Tabela 7.

Tabela 7: Massa específica real dos grãos do resíduo oleoso

Resíduo Oleoso	Massa Específica Real (g/cm ³) 2,342
----------------	---

FONTE: Mendonça (2012)

Os resultados obtidos de massa específica se enquadraram nos parâmetros para o peso específico de resíduos oriundos do processo de exploração em cascalho perfurado, descrito por (Page et al. 2003 *apud* PIRES, 2009), onde um resíduo proveniente deste tipo de processo exploratório tem como característica peso específico na faixa de 13 KN/m³ a 27 KN/m³.

4.4.2 Porcentagem de betume

De acordo com a ABNT NBR 10004:2004, que trata da classificação dos resíduos sólidos, o ROP é classificado como resíduo de classe I, ou sejam é classificado como perigoso. No aspecto toxicidade, o resíduo é classificado como tóxico, visto que o teor de óleo e graxas ultrapassa o limite estabelecido pela norma que é de 5% em massa. A Tabela 8 apresenta os resultados obtidos para o resíduo.

Tabela 82: Porcentagem de betume do resíduo oleoso

Resíduo Oleoso de petróleo	Porcentagem de Betume (%)
	5,4

FONTE: Mendonça (2012)

4.4.3 Teor de umidade higroscópica

O valor do teor de umidade higroscópica, obtido para a amostra de ROP utilizado na pesquisa, foi de 22,35% (Tabela 9).

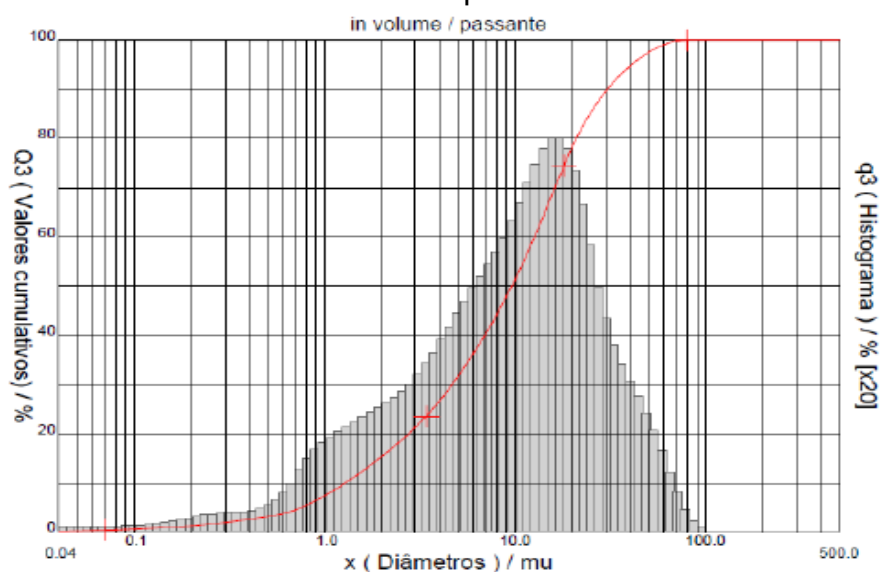
Tabela 9: Umidade higroscópica do resíduo oleoso

Cápsula	PBh	PBs	Tara	Pss	Pa	h (%)	h média (%)
AL – 11	30,32	26,07	7,05	19,02	4,25	22,34	
AL – 12	23,60	20,64	7,40	13,24	2,96	22,36	22,35

FONTE: Mendonça (2012)

4.4.4 Análise granulométrica por difração a laser (AG)

Com o aparelho analisador de partículas por difração a laser, obteve-se a distribuição dos tamanhos das partículas do resíduo oleoso. A Figura 10 apresenta a curva de distribuição granulométrica por difração a laser do ROP.

Figura 10: Curvas Distribuição granulométrica por difração a laser do resíduo oleoso de petróleo

FONTE: Mendonça (2012)

A partir do comportamento obtido para distribuição granulométrica do Resíduo Oleoso de Petróleo observa-se que a curva granulométrica apresentou comportamento modal com diâmetro médio de 13,28 μm , com D10 de 1,28 μm , D50 de 9,58 μm e D90 de 30,37 μm . Para este resíduo oleoso não existe partículas superiores a 100 μm .

4.4.5 Análise química por fluorescência de raios-X

Com a análise química do resíduo oleoso, pode-se saber que o ROP é constituído basicamente por: Óxido de Silício (58,4%), Óxido de Alumínio (17%), Óxido de Ferro (7%), Óxido de Cálcio (5,7%), óxido de Bário (3,2%) e baixos teores de Óxidos de Enxofre, Magnésio, Potássio e Titânio), como descrito na Tabela 10.

Tabela 10: Composição química do resíduo oleoso de petróleo (ROP)

Amostras	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	BaO	SO ₃	MgO	K ₂ O	TiO ₂	Outros
ROP	58,43	17,06	7,01	5,73	3,26	2,52	2,23	1,82	1,60	0,27

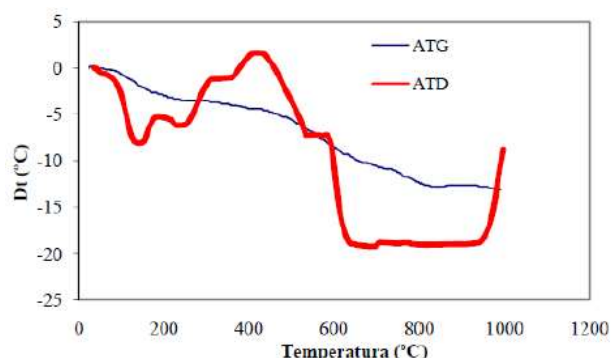
FONTE: Mendonça (2012)

Com base nos resultados obtidos, verifica-se que o resíduo oleoso de petróleo apresenta composição química o qual é possível classificá-la como sendo um composto sílico aluminoso.

4.4.6 Análise Térmica Diferencial (DTA) e termogravimétrica (TG)

A Figura 11 apresenta os resultados da DTA e TG para o resíduo oleoso de petróleo.

Figura 11: Análise Térmica Diferencial (DTA) e Termogravimétrica (TG) do Resíduo Oleoso de Petróleo



FONTE: Autoria própria (2017)

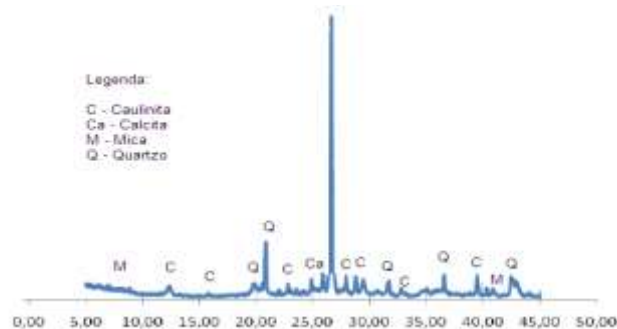
Analisando as curvas de DTA do resíduo oleoso de petróleo, é possível observar a presença de um pico endotérmico em torno de 190°, correspondente a presença de água livre e adsorvida no material; pico exotérmico em torno de 320°C, correspondente à combustão de matéria orgânica; pico exotérmico a aproximadamente 412°C, correspondente à transformação do quartzo alfa para quartzo beta.

Na curva termogravimétrica observa-se que ocorreu uma perda de massa de 3,75% entre 25°C e 225°C, e de 8,25% entre 300°C e 850°C, totalizando uma perda de massa total de 12%.

4.4.7 Difração de Raio - X

Para o estudo das fases mineralógicas do resíduo oleoso de petróleo, foi realizado o ensaio de difração de raios-X, conforme está exposto na Figura 12.

Figura 12: Difratoograma de raios-x do Resíduo oleoso de petróleo



FONTE: Autoria própria (2017)

Com os resultados obtidos, sabe-se que o resíduo oleoso de petróleo é constituído pelas seguintes fases mineralógicas: de quartzo, calcita, mica e caulinita.

4.4.8 Ensaio de Resistência à tração por compressão diametral

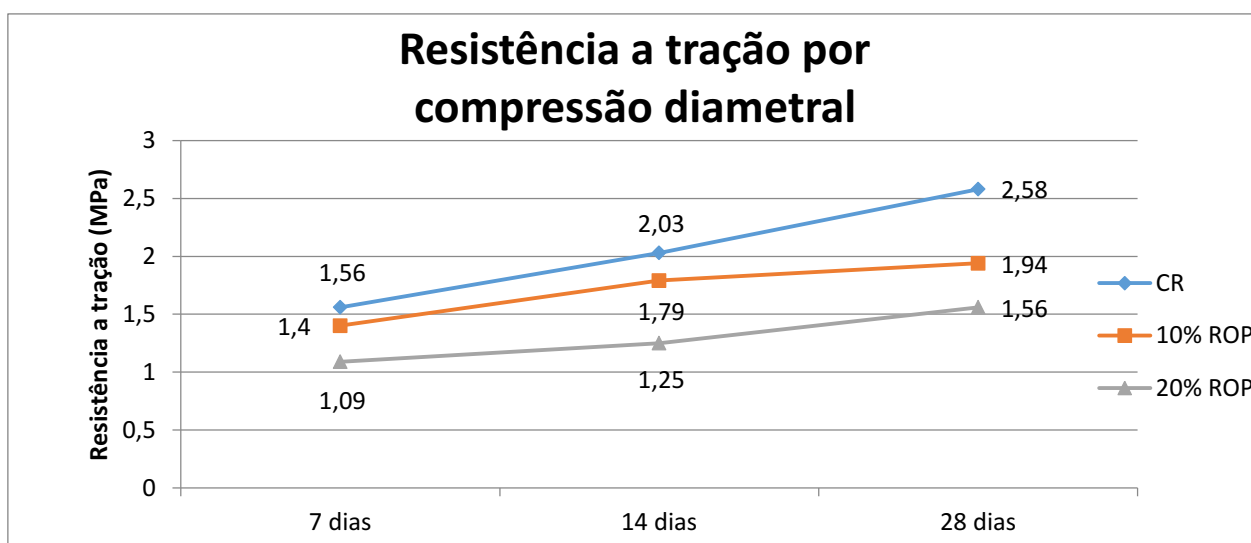
Para ilustrar a evolução da resistência à tração os resultados foram sintetizados na Tabela 11 e ilustrados na Figura 13.

Tabela 11: Evolução da resistência à tração - ftd (MPa)

Teor de substituição	ftd (MPa)		
	7 dias	14 dias	28 dias
0%	1,56	2,03	2,58
10%	1,40	1,79	1,94
20%	1,09	1,25	1,56

FONTE: A autoria própria (2017)

Figura 13: Evolução da resistência à tração ao longo do tempo



FONTE: A autoria própria (2017)

É possível verificar o desempenho das amostras ao longo dos ensaios, no qual a resistência dos corpos de prova após a substituição parcial apresenta uma tendência a redução de resistência.

Nos dados obtidos tem-se que os corpos de prova de referência nas idades de análise, sem substituição do cimento pelo resíduo oleoso de

petróleo, tiveram um comportamento superior, já para os corpos de prova com inclusão de ROP em sua constituição, tiveram redução em sua resistência.

Em relação ao objeto de referência na idade final, houve uma redução de 24,84% dado a dosagem com substituição de 10% de ROP na mistura, e já para a substituição de 20% de ROP houve uma redução de 39,40% em sua resistência aos 28 dias.

4.4.9 Determinação de resistência a compressão simples

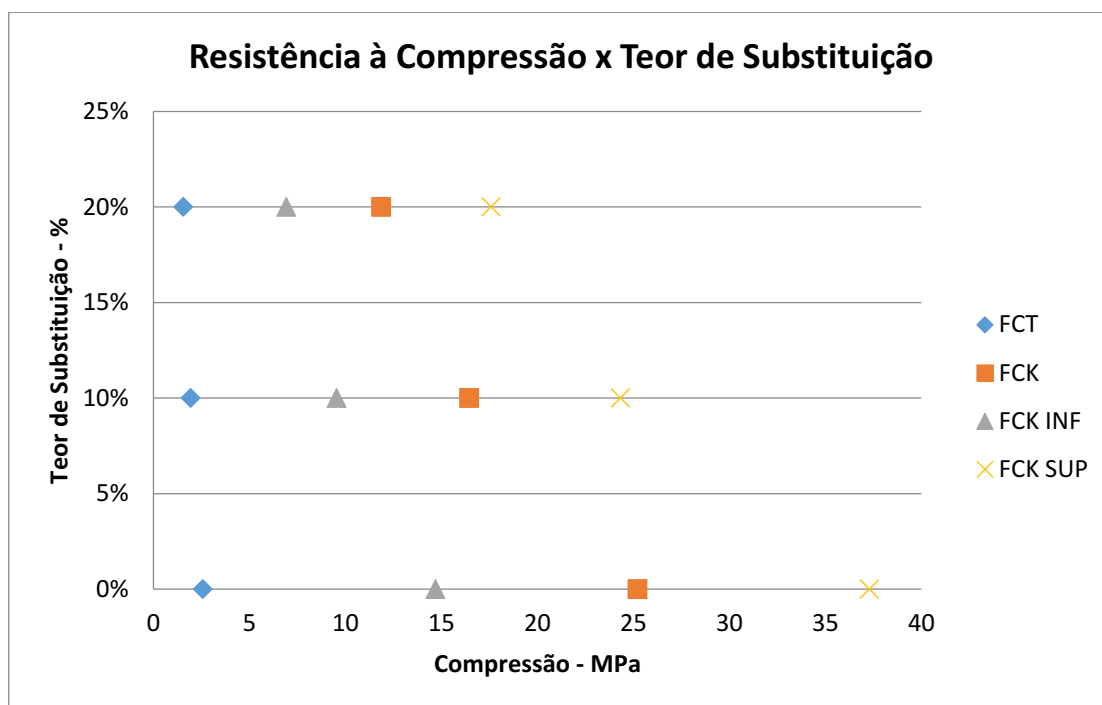
A Tabela 15 apresenta a resistência a compressão dos corpos de prova após 28 dias.

Tabela 123: Resistência à compressão aos 28 dias

Teor de substituição	de fct,m dias	(MPa) 28	Resistência à compressão (MPa)		
			<i>fck</i>	<i>fck,inferior</i>	<i>fck,superior</i>
0%	2.58		25.22	14.70	37.31
10%	1.94		16.44	9.54	24.34
20%	1.56		11.86	6.93	17.60

FONTE: Aatoria própria (2017)

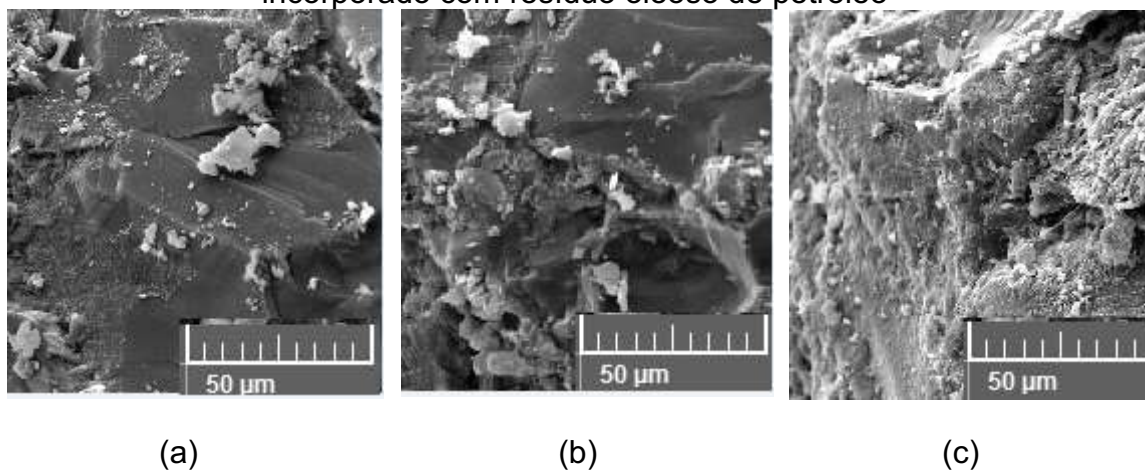
Os dados obtidos refletem que os valores de resistência à tração obtidos experimentalmente têm através dos cálculos da norma para compressão, valores aceitáveis nos teores de 0%, porém são os valores para 10% podem ser levados em consideração e considerados aceitáveis observando o valor de *fck*, superior de 24,34 MPa.

Figura 14: Resistência à compressão aos 28 dias

FONTE: Autoria própria (2017)

4.4.10 Determinação da microestrutura do concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%

A Figura 15 ilustra a microestrutura para o concreto de referência e para o concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo nos teores de 10% e 20%.

Figura 15: Microestrutura para o concreto de referência e para o concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo

FONTE: Autoria própria (2017)

De acordo com a micrografia apresentada na Figura 15(a), verifica-se que o concreto de referência apresenta uma estrutura densa e homogênea com ausência de vazios e presença de impurezas que podem ser proveniente do manuseio da amostra. Para a micrografia do concreto incorporado com 10% de resíduo oleoso de petróleo, observa-se uma estrutura heterogênea, irregularidades superficiais, presença de poros e partículas dispersas na matriz que podem ser do resíduo oleoso que não reagiu com a pasta de cimento. A Figura 15(c), apresenta a micrografia do concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo no teor de 20%, verificando uma estrutura bastante heterogênea e irregular com muitos poros presentes na matriz cimentícia e um volume considerável de partículas dispersas na matriz, indicando que para este percentual há uma grande dispersão das partículas no resíduo oleoso de petróleo, provavelmente devido ao teor de óleo presente na composição, o que impede a entrada de água.

Neste sentido, a microestrutura do concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo, possibilita justificar os resultados obtidos para as propriedades físicas e mecânicas do concreto, indicando que o resíduo atuou como uma barreira, impedindo a passagem da água e levando a uma hidratação incompleta do cimento, favorecendo a formação de poros e conseqüentemente o aumento da absorção e a geração de vazios.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir que:

Na caracterização físico-química do Resíduo Oleoso de Petróleo, obteve-se uma massa específica de $2,342\text{g/cm}^3$ e porcentagem de betume de 5,4%, assim, o ROP fica classificado como tóxico pois pertence à classe I, de acordo com a NBR 10004/2014, apresenta composição química majoritária de 58,43% de SiO_2 , 17,06% de AlO_3 , 7,01% de Fe_2O_3 e 5,73% de CaO , quanto a distribuição granulométrica, apresenta comportamento monomodal, com diâmetro médio de partículas de $13,28\ \mu\text{m}$, D_{10} de $1,28\ \mu\text{m}$, D_{50} de $9,58\ \mu\text{m}$ e D_{90} de $30,37\ \mu\text{m}$ e fases mineralógicas: caulinita, calcita mica e quartzo.

O melhor teor de ROP para a mistura, foi o de 10%, pois nesse teor, o concreto apresentou, após a cura de 28 dias, uma resistência de 24,34MPa.

Para o teor de 20% de ROP, houve uma redução bastante significativa, na resistência à compressão.

Quanto a microestrutura do concreto incorporado com resíduo oleoso de petróleo, indicando que o resíduo atuou como uma barreira, impedindo a passagem da água e levando a uma hidratação incompleta do cimento, favorecendo a formação de poros e conseqüentemente o aumento da absorção e a geração de vazios.

Assim, foi possível concluir que o resíduo oleoso de petróleo, contribuiu para a redução da resistência, tanto para tração, quanto para compressão do concreto. Porém, para os teores de substituição de 10% podem ser levados em consideração e considerados aceitáveis observando o valor de f_{ck} , superior de 24,34 MPa.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Avaliar a durabilidade do concreto incorporado com o resíduo oleoso de petróleo em ambientes agressivos;
- Avaliar a durabilidade do concreto incorporado com o resíduo oleoso de petróleo em situação de incêndio;
- Avaliar o custo e efetuar um orçamento para execução de uma edificação com concreto incorporado com o resíduo oleoso de petróleo.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Norma NBR 7211: **Agregados para concreto**, 2005.

ALMEIDA, L. C. **Notas de aula da disciplina: AU414 - Estruturas IV- Concreto armado**. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Civil, 2002.

ARAUJO, D. O. **Injeção de vapor com aditivos para recuperação de óleos viscosos**. Monografia. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

BATTAGIN, I. **A propósito, qual é a definição de concreto? Quais são seus elementos constituintes?**. Disponível em: <<http://www.nortebrazilconcretos.com/noticias2.php>>. Acesso em: 01 jun. 2017.

BERTOLINI, L. **Materiais de Construção patologia, reparo, prevenção**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 414

BRATBERG, D., HOPKINS, L. **Risk Based Corrective Action and Risk Assessment Procedures in the United States: a 1995 Survey**. In: Proceedings of the 1995 Petroleum Hydrocarbon and Organic Chemicals in Ground Water: Prevention, Detection, and Restoration Conference, Houston, Texas. Nov. p. 25-31.

CARVALHO, J. D. N. **Sobre as origens e desenvolvimento do concreto**. Revista Tecnológica, v. 17, p. 19-28, 2008.

CARVALHO, R. C. FILHO, J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**. EduFSCar: 4^a Ed. São Carlos, 2014.

CIMENTO ORG. **Concreto**. Disponível em: <http://cimento.org/concreto/>. Acesso em: 05 jul. 2017.

DRAIBE, Sônia. **Rumos e metamorfoses: Estado e industrialização no Brasil:1930 a 1960**. Paz e Terra, São Paulo. 1985, p. 161. Disponível em: <<http://revistas.fee.tche.br/index.php/ensaios/article/viewFile/1063/1386>> Acesso em: 08 jul. 2017.

FARIAS, R. F. **Introdução a química do petróleo**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda, 2008.

FASANELLA, C. C. **Produção de biosurfactantes em quatro linhagens fúngicas com potencial para futuro processo de biorremediação em derramamentos de petróleo provenientes de refinarias**. 2005, 59f. Monografia (Bacharel em Ciências Biológicas). Centro Universitário da Fundação de Ensino Octávio Bastos, São João da Boa Vista (SP).

FONTES, K. A. FONTES, G. A. **Indústria do petróleo no Brasil: aspectos históricos e jurídicos acerca da flexibilização do seu monopólio**. Revista científica da escola de direito Universidade Potiguar. Ano 6, n. 2 - abr. /set. 2013.

FUSCO, P.B. **Tecnologia do concreto estrutural**. Pini. São Paulo, 2008.

GUIMARÃES, A. K. V. **Extração do óleo e caracterização dos resíduos da borra de petróleo para fins de reuso**. Dissertação: Mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

HELENE, P.; ANDRADE, T. Concreto de Cimento Portland. In: ISAIA, G. C. **Materiais de Construção Civil.**, v.2, 2. ed. São Paulo: IBRACON, 2010. p. 945-984.

IPIECA - International Petroleum Industry Environmental Conservation Association. **Guia de Planificación para Contingencias de Derrames de Hidrocarburos en el Agua**. Repertorio de Informes. Volume Dos. 1991.

LEMLE, M. **Resíduo zero para refinarias**. Disponível em: <<http://www.faperj.br/?id=105.2.1>>. Acesso em: 05 jul. 2017. 2009.

MEHTA, P. K. e MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo. PINI, 1994.

MEHTA, P.K.;MONTEIRO, P. J. M. **Concreto; Microestrutura, Propriedades e Matérias**. IBRACON, 2008.

NASCIMENTO, A. R. do. **Avaliação do desempenho do método de determinação de TPH (Total Petroleum Hydrocarbon) em areia por detecção no infravermelho**. 2003. 108f. Dissertação (Mestrado em Metrologia para Qualidade Industrial). Centro Técnico Científico, Programa de Pós-graduação em Metrologia para Qualidade Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. Porto Alegre Bookman 2016. Edição: 5.

PEDROSO, F. L. **Concreto: as origens e a evolução do material construtivo mais usado pelo homem**. Revista Concreto. XXXVII. Nº 53 Jan. Fev/ Mar. 2009 ISSN 1809-7197. IBRACON, 2009.

PEDROZA, M. M.; VIEIRA, G. E. G.; PEDROZA, C. M.; RIOS, R. F. M.; PICKLER, A. C.; SOUSA J. F. **Características Químicas E Pirólise De Borra De Petróleo: Uma Revisão**. Revista Científica do IFAL – n. 2, v. 1 – jan./jul. 2011.

PETROBRAS. **Produção anual de petróleo no Brasil aumenta 4,6% e supera nossa meta de 2015**. Disponível em: <<http://www.petrobras.com.br/fatos-e-dados/producao-de>>

petroleo-anual-no-brasil-aumenta-4-6-e-supera-nossa-meta-de-2015.htm>. Acesso em: 05 jul. 2017.

PETRUCCI, E. G. R. **Materiais de Construção**. 8ª ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987. 435 p.

PINHEIRO, L. M. et al. **Estruturas de concreto – capítulo 2**. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas Características do Concreto. 2010.

SILVA, L. J. **Gerenciamento de borras oleosas provenientes de refinaria de petróleo**. Tese: Doutorado em Ciências. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Escola de Química. Rio de Janeiro, 2013.

TEKLA. **Modelar, planejar e concretar**. Disponível em: <https://www.tekla.com/br/solucoes/empreiteiros-do-setor-de-concreto>. Acesso em: 05 jul. 2017.

THINKSTOCK/GETTY IMAGES. **Esponja remove o petróleo e auxilia a recuperação do ecossistema marinho**. Disponível em: : < <http://redeglobo.globo.com/globouniversidade/noticia/2014/06/esponja-remove-o-petroleo-e-auxilia-recuperacao-do-ecossistema-marinho.html>>. Acesso em: 05 jun.2017. 2014.

ANEXOS

Anexo 1

Tabela 134 - Resistência à tração aos 7 dias.

Teor de substituição (%)	Corpo de Prova - nº	Carga Aplicada (t)	Carga média (t)	Carga Aplicada (KN)	ftd (MPa)
0	1	5,20	5,00	49,03	1,56
	2	4,80			
10	3	4,70	4,50	44,13	1,40
	4	4,30			
20	5	3,40	3,50	34,32	1,09
	6	3,60			

FONTE: Autoria própria (2017)

Anexo 2

Tabela 54 - Resistência à tração aos 14 dias.

Teor de substituição (%)	Corpo de Prova - nº	Carga Aplicada (t)	Carga média (t)	Carga Aplicada (KN)	ftd (MPa)
0	7	6,30	6,50	63,74	2,03
	8	6,70			
10	9	6,00	5,75	56,39	1,79
	10	5,50			
20	11	3,60	4,00	39,23	1,25
	12	4,40			

FONTE: Autoria própria (2017)

Anexo 3

Tabela 15 - Resistência à tração aos 28 dias.

Teor de substituição (%)	Corpo de Prova - nº	Carga Aplicada (t)	Carga média (t)	Carga Aplicada (KN)	ftd (MPa)
0	13	9,00	8,25	80,90	2,58
	14	7,50			
10	15	6,20	6,20	60,80	1,94
	16	6,20			
20	17	4,50	5,00	49,03	1,56
	18	5,50			

FONTE: Autoria própria (2017)